

## **ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ НА СТРУКТУРУ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ\***

Малоуглеродистая конструкционная сталь широко используется для изготовления различных конструкций, в том числе толстостенных труб большого диаметра для газопроводов, поскольку она хорошо сваривается, не образует закалочных структур и обладает наиболее удачным сочетанием прочности и ударной вязкости [1]. Из металловедения сварки [2] известно, что при аргонодуговой или электрошлаковой сварке в околошовной зоне формируются переходные зоны термического влияния, состоящие из нескольких участков: 1) зона неполного расплавления с видманштеттовой структурой толщиной 0,1–0,5 мм; 2) зона перегрева с крупным зерном, снижающим пластичность и ударную вязкость, толщиной 3–4 мм; 3) зона нормализации с мелкозернистым строением толщиной от 0,5 до 4 мм; 4) участок неполной перекристаллизации с частичным сохранением исходной структуры соединяемых материалов толщиной от 0,1 до 5 мм; 5) зона рекристаллизации при сварке деформированных заготовок шириной 0,1–1,5 мм; 6) участок синеломкости с исходной структурой, нагретой до 200–400 °С с шириной до 2 мм.

При лазерной сварке, отличающейся сверхвысокими скоростями нагрева и охлаждения при интенсивном конвективном перемешивании расплава в сварочной ванне [3], строение самого шва и особенно зон термического влияния должны быть другими. Нагрев сталей или сплавов в околошовных зонах происходит настолько стремительно с последующим столь же стремительным охлаждением, что многие превращения просто не успевают происходить [4].

В данной работе исследованы структуры зон лазерного воздействия, имитирующего технологический процесс лазерной сварки, на образцах из пластин конструкционной качественной малоуглеродистой стали марки 20 толщиной 3, 8 и 15 мм. Сварку проводили CO<sub>2</sub>-лазером постоянного действия с максимальной мощностью 3 кВт. Использовали режимы сварки с разной скоростью движения заготовок относительно лазерного луча. В зоне обработки выделяли зону переплава (далее по тексту ЗП), соответствующую материалу сварного шва, и зону термического влияния

---

\* Работа выполнена при поддержке проекта УрО РАН № 12-С-1-1027 «Разработка комплексных методов диагностики сварных соединений в трубах большого диаметра и конструкциях ответственного назначения».

(ЗТВ). Были проведены комплексные исследования, объединяющие анализ макро- и микроструктуры, оценку величины аустенитного зерна, определение характера распределения значений микротвердости по высоте и ширине зон воздействия лазера на приборе LEICA при нагрузке 50 г, локальный микрорентгеноспектральный анализ на растровом электронном микроскопе TESCAN VEGAII XMU с волнодисперсионной и энергодисперсионной приставками фирмы OXFORD.

Исследования показали, что при лазерной обработке пластин из стали марки 20 ширина ЗП на  $\frac{1}{2}$  высоты шва не превышает 2 мм, а ЗТВ – 1,5 мм (рис. 1). Максимальная глубина проплавления составила 8 мм. Строение ЗП и особенно ЗТВ после лазерной обработки в режиме кинжального проплавления принципиально отличаются от классических представлений для аргонодуговой сварки: явно различимая дендритная структура наблюдается только в верхней части шва, причем отчетливо видны лишь оси первого порядка; не наблюдаются крупные зерна, соответствующих зоне перегрева; отдельные колонии видманштетовой структуры наблюдали только при скорости сварки 0,4 м/мин.

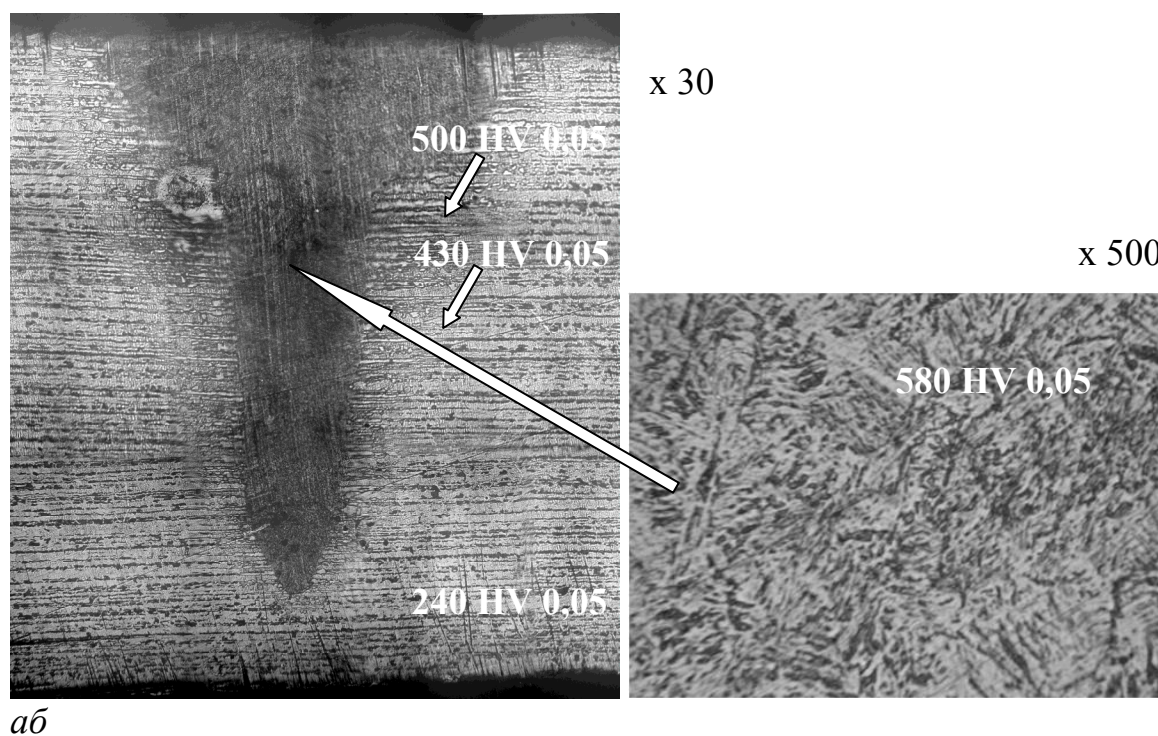


Рис. 1. Макро- (а) и микроструктура (б) зоны лазерной обработки на пластину стали марки 20 толщиной 3 мм

На границе основы и ЗТВ, где температуры нагрева при обработке лазером были минимальными, наблюдали частичное растворение и коагуляцию отдельных частиц цементита. По мере приближения к ЗП увеличиваются температура и скорость нагрева, поэтому более заметно меняется структура – увеличивается объемная доля перлитных колоний, что

соответствует более высоким значениям микротвердости, а в материале ЗП образуются закалочные структуры (рис. 1, б).

В зависимости от скорости сварки микроструктура материала ЗТВ существенно изменяется. При минимальной исследованной скорости сварки 0,4 м/мин перекристаллизация не успевает пройти полностью, сохранившиеся частицы цементита частично растворились и стали глобулярными, на границе ЗП и ЗТВ в отдельных микрообъемах феррит выделился в виде видманштетта (рис. 2, а), однако роста зерна в этих областях не произошло. При скорости движения образца 2 м/мин формируется практически однородная феррито-сорбитная структура с микротвердостью 400 HV 0,5 (рис. 2, б). В ЗП при минимальной скорости образуется сорбито-ферритная структура с микротвердостью 400–450 HV 0,05, а при максимальной – мартенсит с микротвердостью 620 HV 0,05.

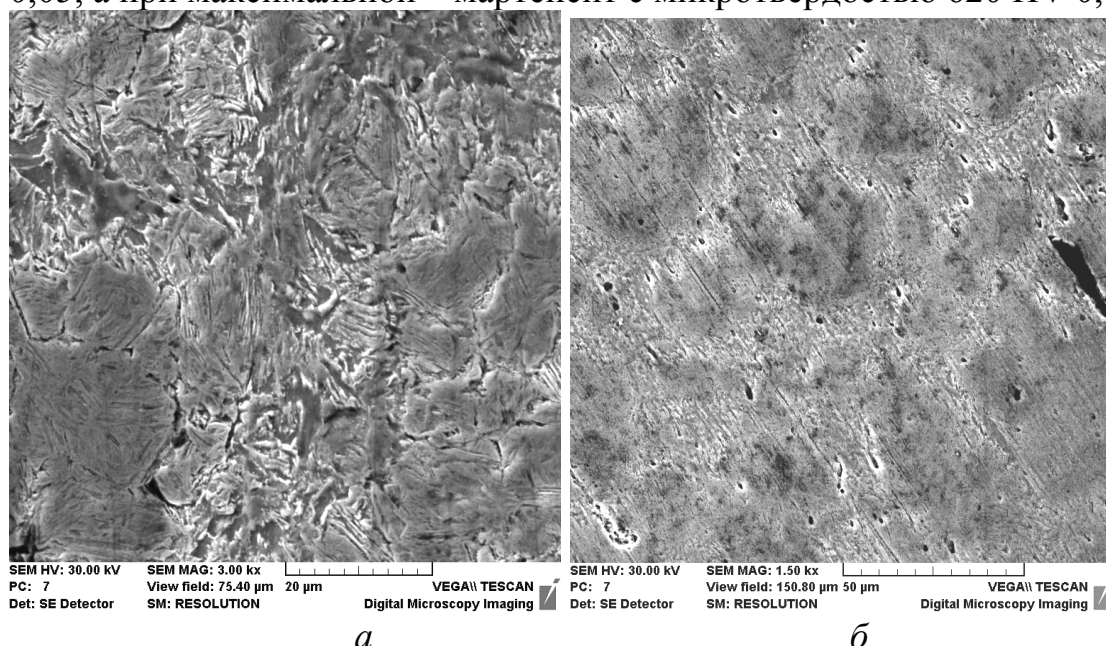


Рис. 2. Микроструктура стали 20 на границе ЗП и ЗТВ после лазерной обработки при скорости сварки 0,4 (*а*) и 2 м/мин (*б*).

#### Список использованных источников

1. Стали и сплавы. Марочник : справ. Изд-е / В.Г. Сорокин [и др.] ; научн. ред. В.Г. Сорокин, М.А. Гервасьев. М.: Интермет Инжиниринг, 2003. 608 с.
2. Шоршоров М.Х. Металловедение сварки стали и сплавов титана. М.: Наука, 1965. 336 с.
3. Лазерная техника и технология : В 7 кн. Кн. 5: Лазерная сварка металлов : учеб. пособие для вузов // А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов ; под ред. А.Г. Григорьянца. М.: Высшая школа, 1988. 207 с.

4. Садовский В.Д., Яковлева И.Л., Счастливцев В.М., Табатчикова Т.И. Лазерный нагрев и структура стали. Свердловск: УрО АН СССР, 1989. 100 с.